

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3683580号

(P3683580)

(45) 発行日 平成17年8月17日(2005. 8. 17)

(24) 登録日 平成17年6月3日(2005. 6. 3)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F 1

B 2 3 K 26/06

B 2 3 K 26/06

A

B 2 3 K 26/04

B 2 3 K 26/04

C

B 2 8 D 5/00

B 2 8 D 5/00

Z

H 0 1 S 3/00

H 0 1 S 3/00

B

// B 2 3 K 101:40

B 2 3 K 101:40

請求項の数 4 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2004-556913 (P2004-556913)

(86) (22) 出願日 平成15年12月4日(2003. 12. 4)

(86) 国際出願番号 PCT/JP2003/015555

(87) 国際公開番号 W02004/050291

(87) 国際公開日 平成16年6月17日(2004. 6. 17)

審査請求日 平成17年2月22日(2005. 2. 22)

(31) 優先権主張番号 特願2002-354234 (P2002-354234)

(32) 優先日 平成14年12月5日(2002. 12. 5)

(33) 優先権主張国 日本国(JP)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1

(74) 代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹

(74) 代理人 100092657

弁理士 寺崎 史朗

(74) 代理人 100124291

弁理士 石田 悟

(72) 発明者 福世 文嗣

静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜

松ホトニクス株式会社内

(72) 発明者 福満 憲志

静岡県浜松市市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜

松ホトニクス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザ加工装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、前記加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するレーザ加工装置であって、

レーザ光源から出射されたレーザ光のビームサイズを拡大するビームエキスパンダと、前記ビームエキスパンダを介して入射したレーザ光を前記加工対象物の内部に集光する集光レンズと、

前記集光レンズを保持すると共に、前記集光レンズにレーザ光を入射させる第1の光通過孔を有するレンズホルダとを備え、

前記ビームエキスパンダと前記第1の光通過孔とを結ぶレーザ光の光路上には、レーザ光を絞って通過させる第2の光通過孔を有する絞り部材が設けられ、その絞り部材は前記レンズホルダから離間していることを特徴とするレーザ加工装置。

【請求項 2】

前記ビームエキスパンダから出射されたレーザ光が略平行光である場合、

前記第2の光通過孔の径は前記第1の光通過孔の径以下であることを特徴とする請求の範囲第1項記載のレーザ加工装置。

【請求項 3】

前記レーザ光源が、ビーム径 $\phi_0$ 、発散角度 $2\theta_0$ でレーザ光を出射し、前記ビームエキスパンダが、倍率Mでレーザ光のビームサイズを拡大し、発散角度 $2\theta_1$ でレーザ光を出射する場合、

前記レーザ光源の出射部と前記ビームエキスパンダの入射部との距離を  $d_1$ 、前記ビームエキスパンダの出射部と前記第2の光通過孔の入射側開口との距離を  $d_2$ 、前記第2の光通過孔の入射側開口と前記第1の光通過孔の入射側開口との距離を  $d_3$  とし、  
前記第1の光通過孔の径を  $\phi_L$ 、前記第2の光通過孔の径を  $\phi_S$  とすると、  
前記  $\phi_L$  及び前記  $\phi_S$  は、

$$\frac{\phi_L \{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) + 2d_2 \tan \theta_1\}}{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) + 2(d_2 + d_3) \tan \theta_1} \geq \phi_S$$

の関係を満たすことを特徴とする請求の範囲第1項記載のレーザ加工装置。

#### 【請求項4】

前記レーザ光源が、ビーム径  $\phi_0$ 、発散角度  $2\theta_0$  でレーザ光を出射し、前記ビームエキスパンダが、倍率  $M$  でレーザ光のビームサイズを拡大し、集束角度  $2\theta_1$  でレーザ光を出射する場合、

前記レーザ光源の出射部と前記ビームエキスパンダの入射部との距離を  $d_1$ 、前記ビームエキスパンダの出射部と前記第2の光通過孔の入射側開口との距離を  $d_2$ 、前記第2の光通過孔の入射側開口と前記第1の光通過孔の入射側開口との距離を  $d_3$  とし、  
前記第1の光通過孔の径を  $\phi_L$ 、前記第2の光通過孔の径を  $\phi_S$  とすると、  
前記  $\phi_L$  及び前記  $\phi_S$  は、

$$\frac{\phi_L \{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) - 2d_2 \tan \theta_1\}}{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) - 2(d_2 + d_3) \tan \theta_1} \geq \phi_S$$

の関係を満たすことを特徴とする請求の範囲第1項記載のレーザ加工装置。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 技術分野

#### 【0001】

本発明は、ウェハ状の加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するためのレーザ加工装置に関する。

#### 背景技術

#### 【0002】

従来から、レーザ光を加工対象物に照射することで溶断等の加工を行うレーザ工装置がある。この種のレーザ加工装置は、レーザ光を加工対象物に向けて集光するための集光レンズが設けられたレーザヘッドを有し、このレーザヘッドのレーザ光入射側には、集光レンズに入射するレーザ光の径を一定にするための入射瞳として光通過孔が設けられるのが一般的である（例えば、特開平5-212571号公報、実開平3-18979号公報参照）。

#### 発明の開示

#### 【0003】

上述したようなレーザ加工装置においては、入射瞳径より大きいビームサイズのレーザ光がレーザヘッドの光通過孔に向けて照射されるので、光通過孔の周囲部分でカットされたレーザ光によってレーザヘッドが加熱され、これにより集光レンズも加熱されることになる。そのため、レーザヘッドや集光レンズが膨張するなどして、加工対象物に対するレーザ光の集光点の位置がレーザ加工中に変動してしまうおそれがある。

#### 【0004】

そして、このような集光点の位置変動は、ウェハ状の加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するようなレーザ加工では、特にシビアな問題となる。その理由としては、例えば、厚さ  $100\mu\text{m}$  以下のシリコンウェハを加工対象物とする際には、レーザ光の集光点の位置制御が  $\mu\text{m}$  オーダーで要求される場合があるからである。

#### 【0005】

そこで、本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、レーザ加工中におけるレーザ光の集光点の位置変動を小さく抑えることのできるレーザ加工装置を提供することを目的とする。

#### 【0006】

10

20

30

40

50

上記目的を達成するために、本発明に係るレーザ加工装置は、ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するレーザ加工装置であって、レーザ光源から出射されたレーザ光のビームサイズを拡大するビームエキスパンダと、ビームエキスパンダを介して入射したレーザ光を加工対象物の内部に集光する集光レンズと、集光レンズを保持すると共に、集光レンズにレーザ光を入射させる第1の光通過孔を有するレンズホルダとを備え、ビームエキスパンダと第1の光通過孔とを結ぶレーザ光の光路上には、レーザ光を絞って通過させる第2の光通過孔を有する絞り部材が設けられ、その絞り部材はレンズホルダから離間していることを特徴とする。

#### 【0007】

このレーザ加工装置においては、ビームエキスパンダによりビームサイズを拡大されたレーザ光が絞り部材の第2の光通過孔に向けて照射されるため、第2の光通過孔より大きいレーザ光の外周部分がカットされ、これにより、レーザ光はビームサイズを絞られて第2の光通過孔を通過することになる。この第2の光通過孔を通過したレーザ光は、集光レンズを保持するレンズホルダの第1の光通過孔に向けて照射され、この第1の光通過孔を通過したレーザ光が集光レンズにより集光される。そして、その集光点をウェハ状（すなわち、薄く平たい形状）の加工対象物の内部に合わせることで、加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成する。このようにビームエキスパンダと第1の光通過孔とを結ぶレーザ光の光路上に絞り部材を設けることで、ビームエキスパンダによりビームサイズを拡大されたレーザ光をレンズホルダの第1の光通過孔に向けて直接照射させる場合に比べ、第1の光通過孔の周囲部分によるレーザ光のカット量を減少させることができ、カットされたレーザ光によるレンズホルダの加熱を抑えることが可能になる。しかも、絞り部材はレンズホルダから離間しているため、第2の光通過孔の周囲部分でカットされたレーザ光によって絞り部材が加熱されても、絞り部材からレンズホルダへの熱伝達が防止される。したがって、レーザ加工中におけるレンズホルダの加熱を主原因としたレーザ光の集光点の位置変動を小さく抑えることができ、ウェハ状の加工対象物の内部における所定の位置に精度良く改質領域を形成することが可能になる。

#### 【0008】

また、ビームエキスパンダから出射されたレーザ光が略平行光である場合、第2の光通過孔の径は第1の光通過孔の径以下であることが好ましい。ビームエキスパンダから出射されたレーザ光が完全な平行光である場合には、第2の光通過孔の径と第1の光通過孔の径とを同径にすることで、絞り部材の第2の光通過孔を通過したレーザ光の径を第1の光通過孔の径と同等にすることができる。また、ビームエキスパンダから出射されたレーザ光が若干拡がるような略平行光である場合には、レーザ光の拡がり分を考慮して第2の光通過孔の径を第1の光通過孔の径より小さくすることで、第1の光通過孔の周囲部分に入射するレーザ光をほとんどなくすることができる。したがって、集光レンズの集光特性を最大限に発揮させつつ、第1の光通過孔の周囲部分によるレーザ光のカット量をほとんどなくし、レンズホルダの加熱をより一層抑えることが可能になる。ここで、略平行光とは、完全な平行光をも含む意味である。

#### 【0009】

また、レーザ光源が、ビーム径  $\phi_0$ 、発散角度  $2\theta_0$  でレーザ光を出射し、ビームエキスパンダが、倍率  $M$  でレーザ光のビームサイズを拡大し、発散角度  $2\theta_1$  でレーザ光を出射する場合、レーザ光源の出射部とビームエキスパンダの入射部との距離を  $d_1$ 、ビームエキスパンダの出射部と第2の光通過孔の入射側開口との距離を  $d_2$ 、第2の光通過孔の入射側開口と第1の光通過孔の入射側開口との距離を  $d_3$  とし、第1の光通過孔の径を  $\phi_L$ 、第2の光通過孔の径を  $\phi_s$  とすると、 $\phi_L$  及び  $\phi_s$  は、

$$\frac{\phi_L \{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) + 2d_2 \tan \theta_1\}}{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) + 2(d_2 + d_3) \tan \theta_1} \geq \phi_s$$

の関係を満たすことが好ましい。このように、ビームエキスパンダから出射されたレーザ光が発散光である場合には、第1の光通過孔の径  $\phi_L$  と第2の光通過孔の径  $\phi_s$  とが上記関

係を満たすことで、第1の光通過孔の周囲部分に入射するレーザー光をほとんどなくすることができる。したがって、第1の光通過孔の周囲部分によるレーザー光のカット量をほとんどなくし、レンズホルダの加熱をより一層抑えることが可能になる。

【0010】

また、レーザー光源が、ビーム径 $\phi_0$ 、発散角度 $2\theta_0$ でレーザー光を出射し、ビームエキスパンダが、倍率Mでレーザー光のビームサイズを拡大し、集束角度 $2\theta_1$ でレーザー光を出射する場合、レーザー光源の出射部とビームエキスパンダの入射部との距離を $d_1$ 、ビームエキスパンダの出射部と第2の光通過孔の入射側開口との距離を $d_2$ 、第2の光通過孔の入射側開口と第1の光通過孔の入射側開口との距離を $d_3$ とし、第1の光通過孔の径を $\phi_L$ 、第2の光通過孔の径を $\phi_s$ とすると、 $\phi_L$ 及び $\phi_s$ は、

$$\frac{\phi_L \{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) - 2d_2 \tan \theta_1\}}{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) - 2(d_2 + d_3) \tan \theta_1} \geq \phi_s$$

の関係を満たすことが好ましい。このように、ビームエキスパンダから出射されたレーザー光が集束光である場合には、第1の光通過孔の径 $\phi_L$ と第2の光通過孔の径 $\phi_s$ とが上記関係を満たすことで、第1の光通過孔の周囲部分に入射するレーザー光をほとんどなくすることができる。したがって、第1の光通過孔の周囲部分によるレーザー光のカット量をほとんどなくし、レンズホルダの加熱をより一層抑えることが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

図1は、本実施形態に係るレーザー加工方法によるレーザー加工中の加工対象物の平面図である。

【0012】

図2は、図1に示す加工対象物のII-II線に沿った断面図である。

【0013】

図3は、本実施形態に係るレーザー加工方法によるレーザー加工後の加工対象物の平面図である。

【0014】

図4は、図3に示す加工対象物のIV-IV線に沿った断面図である。

【0015】

図5は、図3に示す加工対象物のV-V線に沿った断面図である。

【0016】

図6は、本実施形態に係るレーザー加工方法により切断された加工対象物の平面図である。

【0017】

図7は、本実施形態に係るレーザー加工方法における電界強度とクラックスポットの大きさとの関係を示すグラフである。

【0018】

図8は、本実施形態に係るレーザー加工方法の第1工程における加工対象物の断面図である。

【0019】

図9は、本実施形態に係るレーザー加工方法の第2工程における加工対象物の断面図である。

【0020】

図10は、本実施形態に係るレーザー加工方法の第3工程における加工対象物の断面図である。

【0021】

図11は、本実施形態に係るレーザー加工方法の第4工程における加工対象物の断面図である。

【0022】

図12は、本実施形態に係るレーザー加工方法により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。

10

20

30

40

50

## 【0023】

図13は、本実施形態に係るレーザ加工方法におけるレーザ光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。

## 【0024】

図14は、本実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成図である。

## 【0025】

図15は、図14に示すレーザ加工装置の要部を示す拡大図である。

## 【0026】

図16は、図14に示すレーザ加工装置におけるレーザ加工開始からの経過時間とレンズホルダの上昇温度との関係を示すグラフである。

10

## 【0027】

図17は、ビームエキスパンダから出射されたレーザ光が発散光である場合のレーザ加工装置の要部を示す概略構成図である。

## 【0028】

図18は、ビームエキスパンダから出射されたレーザ光が集束光である場合のレーザ加工装置の要部を示す概略構成図である。

発明を実施するための最良の形態

## 【0029】

以下、本発明に係るレーザ加工装置の好適な実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

20

## 【0030】

本実施形態に係るレーザ加工装置は、ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、前記加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するものである。そこで、本実施形態に係るレーザ加工装置の説明に先立って、多光子吸収による改質領域の形成について説明する。

## 【0031】

材料の吸収のバンドギャップ  $E_g$  よりも光子のエネルギー  $h\nu$  が小さいと光学的に透明となる。よって、材料に吸収が生じる条件は  $h\nu > E_g$  である。しかし、光学的に透明でも、レーザ光の強度を非常に大きくすると  $n h\nu > E_g$  の条件 ( $n = 2, 3, 4, \dots$ ) で材料に吸収が生じる。この現象を多光子吸収という。パルス波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点のピークパワー密度 ( $W/cm^2$ ) で決まり、例えばピークパワー密度が  $1 \times 10^8 (W/cm^2)$  以上の条件で多光子吸収が生じる。ピークパワー密度は、(集光点におけるレーザ光の1パルス当たりのエネルギー)  $\div$  (レーザ光のビームスポット断面積  $\times$  パルス幅) により求められる。また、連続波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点の電界強度 ( $W/cm^2$ ) で決まる。

30

## 【0032】

このような多光子吸収を利用する本実施形態に係るレーザ加工の原理について、図1～図6を参照して説明する。図1はレーザ加工中の加工対象物1の平面図であり、図2は図1に示す加工対象物1のII-II線に沿った断面図であり、図3はレーザ加工後の加工対象物1の平面図であり、図4は図3に示す加工対象物1のIV-IV線に沿った断面図であり、図5は図3に示す加工対象物1のV-V線に沿った断面図であり、図6は切断された加工対象物1の平面図である。

40

## 【0033】

図1及び図2に示すように、加工対象物1の表面3には、加工対象物1を切断すべき所望の切断予定ライン5がある。切断予定ライン5は直線状に延びた仮想線である(加工対象物1に実際に線を引いて切断予定ライン5としてもよい)。本実施形態に係るレーザ加工は、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを加工対象物1に照射して改質領域7を形成する。なお、集光点とはレーザ光Lが集光した箇所のことである。

## 【0034】

50

レーザ光Lを切断予定ライン5に沿って（すなわち矢印A方向に沿って）相対的に移動させることにより、集光点Pを切断予定ライン5に沿って移動させる。これにより、図3～図5に示すように改質領域7が切断予定ライン5に沿って加工対象物1の内部にのみ形成され、この改質領域7でもって切断予定部8が形成される。本実施形態に係るレーザ加工方法は、加工対象物1がレーザ光Lを吸収することにより加工対象物1を発熱させて改質領域7を形成するのではない。加工対象物1にレーザ光Lを透過させ加工対象物1の内部に多光子吸収を発生させて改質領域7を形成している。よって、加工対象物1の表面3ではレーザ光Lがほとんど吸収されないので、加工対象物1の表面3が熔融することはない。

#### 【0035】

加工対象物1の切断において、切断する箇所に起点があると加工対象物1はその起点から割れるので、図6に示すように比較的小さな力で加工対象物1を切断することができる。よって、加工対象物1の表面3に不必要な割れを発生させることなく加工対象物1の切断が可能となる。

#### 【0036】

なお、切断予定部を起点とした加工対象物の切断には、次の2通りが考えられる。1つは、切断予定部形成後、加工対象物に人為的な力が印加されることにより、切断予定部を起点として加工対象物が割れ、加工対象物が切断される場合である。これは、例えば加工対象物の厚さが大きい場合の切断である。人為的な力が印加されるとは、例えば、加工対象物の切断予定部に沿って加工対象物に曲げ応力やせん断応力を加えたり、加工対象物に温度差を与えることにより熱応力を発生させたりすることである。他の1つは、切断予定部を形成することにより、切断予定部を起点として加工対象物の断面方向（厚さ方向）に向かって自然に割れ、結果的に加工対象物が切断される場合である。これは、例えば加工対象物の厚さが小さい場合には、1列の改質領域により切断予定部が形成されることで可能となり、加工対象物の厚さが大きい場合には、厚さ方向に複数列形成された改質領域により切断予定部が形成されることで可能となる。なお、この自然に割れる場合も、切断する箇所において、切断予定部が形成されていない部位に対応する部分の表面上にまで割れが先走ることがなく、切断予定部を形成した部位に対応する部分のみを割断することができるので、割断を制御よくすることができる。近年、シリコンウェハ等の加工対象物の厚さは薄くなる傾向にあるので、このような制御性のよい割断方法は大変有効である。

#### 【0037】

さて、本実施形態において多光子吸収により形成される改質領域としては、次の（1）～（3）がある。

#### 【0038】

（1）改質領域が1つ又は複数のクラックを含むクラック領域の場合

加工対象物（例えばガラスやLiTaO<sub>3</sub>からなる圧電材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>)以上で且つパルス幅が1μs以下の条件でレーザ光を照射する。このパルス幅の大きさは、多光子吸収を生じさせつつ加工対象物の表面に余計なダメージを与えずに、加工対象物の内部にのみクラック領域を形成できる条件である。これにより、加工対象物の内部には多光子吸収による光学的損傷という現象が発生する。この光学的損傷により加工対象物の内部に熱ひずみが誘起され、これにより加工対象物の内部にクラック領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば $1 \times 10^{12}$  (W/cm<sup>2</sup>)である。パルス幅は例えば1ns～200nsが好ましい。なお、多光子吸収によるクラック領域の形成は、例えば、第45回レーザ熱加工研究会論文集（1998年、12月）の第23頁～第28頁の「固体レーザ高調波によるガラス基板の内部マーキング」に記載されている。

#### 【0039】

本発明者は、電界強度とクラックの大きさとの関係を実験により求めた。実験条件は次の通りである。

（A）加工対象物：パイレックス（登録商標）ガラス（厚さ700μm）

## (B) レーザ

光源：半導体レーザー励起Nd:YAGレーザー  
波長：1064nm  
レーザー光スポット断面積： $3.14 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$   
発振形態：Qスイッチパルス  
繰り返し周波数：100kHz  
パルス幅：30ns  
出力：出力<1mJ/パルス  
レーザー光品質： $\text{TEM}_{00}$   
偏光特性：直線偏光

10

## (C) 集光用レンズ

レーザー光波長に対する透過率：60パーセント

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：100mm/秒

## 【0040】

なお、レーザー光品質が $\text{TEM}_{00}$ とは、集光性が高くレーザー光の波長程度まで集光可能を意味する。

## 【0041】

図7は上記実験の結果を示すグラフである。横軸はピークパワー密度であり、レーザー光がパルスレーザー光なので電界強度はピークパワー密度で表される。縦軸は1パルスのレーザー光により加工対象物の内部に形成されたクラック部分（クラックスポット）の大きさを示している。クラックスポットが集まりクラック領域となる。クラックスポットの大きさは、クラックスポットの形状のうち最大の長さとなる部分の大きさである。グラフ中の黒丸で示すデータは集光用レンズ(C)の倍率が100倍、開口数(NA)が0.80の場合である。一方、グラフ中の白丸で示すデータは集光用レンズ(C)の倍率が50倍、開口数(NA)が0.55の場合である。ピークパワー密度が $10^{11} (\text{W}/\text{cm}^2)$ 程度から加工対象物の内部にクラックスポットが発生し、ピークパワー密度が大きくなるに従いクラックスポットも大きくなることが分かる。

20

## 【0042】

次に、本実施形態に係るレーザー加工において、クラック領域形成による加工対象物の切断のメカニズムについて図8～図11を用いて説明する。図8に示すように、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザー光Lを加工対象物1に照射して切断予定ラインに沿って内部にクラック領域9を形成する。クラック領域9は1つ又は複数のクラックを含む領域である。このクラック領域9でもって切断予定部が形成される。図9に示すようにクラック領域9を起点として（すなわち、切断予定部を起点として）クラックがさらに成長し、図10に示すようにクラックが加工対象物1の表面3と裏面17に到達し、図11に示すように加工対象物1が割れることにより加工対象物1が切断される。加工対象物の表面と裏面に到達するクラックは自然に成長する場合もあるし、加工対象物に力が印加されることにより成長する場合もある。

30

## 【0043】

## (2) 改質領域が熔融処理領域の場合

加工対象物（例えばシリコンのような半導体材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$ 以上で且つパルス幅が $1 \mu\text{s}$ 以下の条件でレーザー光を照射する。これにより加工対象物の内部は多光子吸収によって局所的に加熱される。この加熱により加工対象物の内部に熔融処理領域が形成される。熔融処理領域とは一旦熔融後再固化した領域や、まさに熔融状態の領域や、熔融状態から再固化する状態の領域であり、相変化した領域や結晶構造が変化した領域ということもできる。また、熔融処理領域とは単結晶構造、非晶質構造、多結晶構造において、ある構造が別の構造に変化した領域ということもできる。つまり、例えば、単結晶構造から非晶質構造に変化した領域、単結晶構造から多結晶構造に変化した領域、単結晶構造から非晶質構造及び多結晶構造を含む構造に変化した領域を意味する。加工対象物がシリコン単結晶構造の場合、熔融処理

40

50

領域は例えば非晶質シリコン構造である。電界強度の上限値としては、例えば  $1 \times 10^{12}$  ( $\text{W}/\text{cm}^2$ ) である。パルス幅は例えば  $1 \text{ ns} \sim 200 \text{ ns}$  が好ましい。

#### 【0044】

本発明者は、シリコンウェハの内部で熔融処理領域が形成されることを実験により確認した。実験条件は次の通りである。

(A) 加工対象物：シリコンウェハ（厚さ  $350 \mu\text{m}$ 、外径 4 インチ）

(B) レーザ

光源：半導体レーザ励起 Nd : YAG レーザ

波長：  $1064 \text{ nm}$

レーザ光スポット断面積：  $3.14 \times 10^{-8} \text{ cm}^2$

発振形態：Q スイッチパルス

繰り返し周波数：  $100 \text{ kHz}$

パルス幅：  $30 \text{ ns}$

出力：  $20 \mu\text{J}/\text{パルス}$

レーザ光品質：TEM<sub>00</sub>

偏光特性：直線偏光

(C) 集光用レンズ

倍率：50 倍

N.A. : 0.55

レーザ光波長に対する透過率：60 パーセント

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：  $100 \text{ mm}/\text{秒}$

#### 【0045】

図 12 は、上記条件でのレーザ加工により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。シリコンウェハ 11 の内部に熔融処理領域 13 が形成されている。なお、上記条件により形成された熔融処理領域 13 の厚さ方向の大きさは  $100 \mu\text{m}$  程度である。

#### 【0046】

熔融処理領域 13 が多光子吸収により形成されたことを説明する。図 13 は、レーザ光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。ただし、シリコン基板の表面側と裏面側それぞれの反射成分を除去し、内部のみの透過率を示している。シリコン基板の厚さ  $t$  が  $50 \mu\text{m}$ 、 $100 \mu\text{m}$ 、 $200 \mu\text{m}$ 、 $500 \mu\text{m}$ 、 $1000 \mu\text{m}$  の各々について上記関係を示した。

#### 【0047】

例えば、Nd : YAG レーザの波長である  $1064 \text{ nm}$  において、シリコン基板の厚さが  $500 \mu\text{m}$  以下の場合、シリコン基板の内部ではレーザ光が 80 % 以上透過することが分かる。図 12 に示すシリコンウェハ 11 の厚さは  $350 \mu\text{m}$  であるので、多光子吸収による熔融処理領域 13 はシリコンウェハの中心付近、つまり表面から  $175 \mu\text{m}$  の部分に形成される。この場合の透過率は、厚さ  $200 \mu\text{m}$  のシリコンウェハを参考にすると、90 % 以上なので、レーザ光がシリコンウェハ 11 の内部で吸収されるのは僅かであり、ほとんどが透過する。このことは、シリコンウェハ 11 の内部でレーザ光が吸収されて、熔融処理領域 13 がシリコンウェハ 11 の内部に形成（つまりレーザ光による通常の加熱で熔融処理領域が形成）されたものではなく、熔融処理領域 13 が多光子吸収により形成されたことを意味する。多光子吸収による熔融処理領域の形成は、例えば、溶接学会全国大会講演概要第 66 集（2000 年 4 月）の第 72 頁～第 73 頁の「ピコ秒パルスレーザによるシリコンの加工特性評価」に記載されている。

#### 【0048】

なお、シリコンウェハは、熔融処理領域でもって形成される切断予定部を起点として断面方向に向かって割れを発生させ、その割れがシリコンウェハの表面と裏面とに到達することにより、結果的に切断される。シリコンウェハの表面と裏面に到達するこの割れは自然に成長する場合もあるし、シリコンウェハに力が印加されることにより成長する場合もある。



る。なお、切断予定部からシリコンウェハの表面と裏面とに割れが自然に成長する場合に、切断予定部を形成する熔融処理領域が熔融している状態から割れが成長する場合と、切断予定部を形成する熔融処理領域が熔融している状態から再固化する際に割れが成長する場合とのいずれもある。ただし、どちらの場合も熔融処理領域はシリコンウェハの内部のみに形成され、切断後の切断面には、図12のように内部にのみ熔融処理領域が形成されている。加工対象物の内部に熔融処理領域でもって切断予定部を形成すると、切断時、切断予定部ラインから外れた不必要な割れが生じにくいので、切断制御が容易となる。

#### 【0049】

##### (3) 改質領域が屈折率変化領域の場合

加工対象物（例えばガラス）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) 以上で且つパルス幅が 1 ns 以下の条件でレーザー光を照射する。パルス幅を極めて短くして、多光子吸収を加工対象物の内部に起こさせると、多光子吸収によるエネルギーが熱エネルギーに転化せずに、加工対象物の内部にはイオン価数変化、結晶化又は分極配向等の永続的な構造変化が誘起されて屈折率変化領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば  $1 \times 10^{12}$  (W/cm<sup>2</sup>) である。パルス幅は例えば 1 ns、以下が好ましく、1 ps 以下がさらに好ましい。多光子吸収による屈折率変化領域の形成は、例えば、第42回レーザー熱加工研究会論文集（1997年、11月）の第105頁～第111頁の「フェムト秒レーザー照射によるガラス内部への光誘起構造形成」に記載されている。

#### 【0050】

次に、本実施形態に係るレーザー加工装置について、図14及び図15を参照して説明する。

#### 【0051】

図14に示すように、レーザー加工装置20は、ウェハ状の加工対象物1の内部に集光点P1を合わせて加工用レーザー光L1を照射することで、加工対象物1の内部に多光子吸収による改質領域7を形成し、この改質領域7でもって、加工対象物1の表面3に沿って延在する切断予定部8を形成する装置である。ここで、加工対象物1はシリコンウェハ等の半導体ウェハであり、改質領域7は熔融処理領域である。

#### 【0052】

このレーザー加工装置20は、加工対象物1が載置されるステージ21を有しており、このステージ21は、上下方向をZ軸方向としてX軸方向、Y軸方向、Z軸方向の各方向に移動可能となっている。ステージ21の上方には、加工用レーザー光L1を発生するレーザー光源22等を収容した筐体23が配置されている。このレーザー光源22は、例えばNd:YAGレーザーであり、真下に位置するステージ21上の加工対象物1に向けてパルス幅1 μs以下のパルスレーザー光である加工用レーザー光L1を出射する。

#### 【0053】

筐体23の下端面には電動レボルバ24が取り付けられており、この電動レボルバ24には、加工対象物1を観察するための観察用対物レンズ26と、加工用レーザー光L1を集光するための加工用対物レンズ27とが装着されている。各対物レンズ26、27の光軸は、電動レボルバ24の回転によって加工用レーザー光L1の光軸に一致させられる。なお、加工用対物レンズ27と電動レボルバ24との間には、ピエゾ素子を用いたアクチュエータ28が介在されており、このアクチュエータ28によって加工用対物レンズ27の位置がZ軸方向（上下方向）に微調整される。

#### 【0054】

図15に示すように、加工用対物レンズ27は円筒形状のレンズホルダ29を有し、このレンズホルダ29は、その内部において複数のレンズを組み合わせてなる開口数「0.80」の集光レンズ31を保持している。そして、レンズホルダ29の上端部には、集光レンズ31に対する加工用レーザー光L1の入射瞳として第1の光通過孔32が形成され、レンズホルダ29の下端部には加工用レーザー光L1の出射開口33が形成されている。このように構成された加工用対物レンズ27によって加工用レーザー光L1が集光され、集光レ

10

20

30

40

50

ンズ31による集光点P1での加工用レーザ光L1のピークパワー密度は $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>)以上となる。

【0055】

また、筐体23内における加工用レーザ光L1の光軸上には、図14に示すように、レーザ光源22で発生したレーザ光L1のビームサイズを拡大するビームエキスパンダ34と、レーザ光L1の出力や偏光を調整するレーザ光調整光学系36と、レーザ光L1の通過又は遮断を行う電磁シャッタ37と、レーザ光L1のビームサイズを絞る絞り部材38とが上から下にこの順序で配置されている。なお、ビームエキスパンダ34は、略平行光としてレーザ光L1を出射する。

【0056】

図15に示すように、絞り部材38は、加工用対物レンズ27の第1の光通過孔32の上方に位置して筐体23に取り付けられており、加工用レーザ光L1の光軸上においてこのレーザ光L1を絞って通過させるアパーチャとしての第2の光通過孔39を有している。この第2の光通過孔39は、加工用対物レンズ27の第1の光通過孔32と同径に形成されており、第2の光通過孔39の中心軸線は、絞り部材38に設けられた調節ネジ35によって第1の光通過孔32の中心軸線に正確に一致させることができる。したがって、ビームエキスパンダ34によりビームサイズを拡大された加工用レーザ光L1は、絞り部材38によって第2の光通過孔39より大きいレーザ光L1の外周部分がカッドされ、これにより、第2の光通過孔39を通過した加工用レーザ光L1の径は、加工用対物レンズ27の第1の光通過孔32の径と同等になる。なお、ビームエキスパンダ34から出射されたレーザ光L1が完全な平行光ではなく、レーザ光L1が若干拡がるような略平行光である場合には、レーザ光L1の拡がり分を考慮して、第1の光通過孔32の周囲部分に入射するレーザ光L1がほとんどなくなるように第2の光通過孔39の径を第1の光通過孔32の径より小さくすればよい。

【0057】

さらに、レーザ加工装置20は、図14に示すように、加工用対物レンズ27と加工対象物1の表面3との距離をレーザ加工中常に一定に保つべく、測距用レーザ光を発生するレーザダイオード等の測距用光源41と、フォトダイオードを4等分してなる4分割位置検出素子42とを筐体23内に有している。

【0058】

すなわち、測距用光源41から出射された測距用レーザ光は、ピンホール43、ビームエキスパンダ44を順次通過した後、ミラー46、ハーフミラー47により順次反射されて、電磁シャッタ37と絞り部材38との間に配置されたダイクロイックミラー48に導かれる。このダイクロイックミラー48により反射された測距用レーザ光は、加工用レーザ光L1の光軸上を下方に向かって進行し、絞り部材38の第2の光通過孔39を通過した後、加工用対物レンズ27の集光レンズ31により集光されて加工対象物1に照射される。なお、加工用レーザ光L1はダイクロイックミラー48を透過する。

【0059】

そして、加工対象物1の表面3で反射された測距用レーザ光の反射光は、加工用対物レンズ27の集光レンズ31に再入射して加工用レーザ光L1の光軸上を上方に向かって進行し、絞り部材38の第2の光通過孔39を通過した後、ダイクロイックミラー48により反射される。このダイクロイックミラー48により反射された測距用レーザ光の反射光は、ハーフミラー47を通過した後、シリンドリカルレンズと平凸レンズとからなる整形光学系49により集光されて4分割位置検出素子42上に照射される。

【0060】

この4分割位置検出素子42上における測距用レーザ光の反射光の集光像パターンは、加工用対物レンズ27と加工対象物1の表面3との距離に応じて変化する。このレーザ加工装置20では、加工用対物レンズ27と加工対象物1の表面3との距離がレーザ加工中常に一定となるように、4分割位置検出素子42上の集光像パターンに基づいてアクチュエータ28をフィードバック制御し、加工用対物レンズ27の位置を上下方向に微調整する

10

20

30

40

50

## 【0061】

さらに、レーザ加工装置20は、ステージ21上に載置された加工対象物1を観察すべく、観察用可視光を発生する観察用光源51を筐体23外に有し、CCDカメラ52を筐体23内に有している。

## 【0062】

すなわち、観察用光源51で発せられた観察用可視光は、光ファイバからなるライトガイド53により筐体23内に導かれ、視野絞り54、開口絞り56、ダイクロイックミラー57等を順次通過した後、絞り部材38と加工用対物レンズ27の第1の光通過孔32と間に配置されたダイクロイックミラー58により反射される。反射された観察用可視光は、加工用レーザ光L1の光軸上を下方に向かって進行し、電動レボルバ24の回転によって加工用レーザ光L1の光軸上に配置された観察用対物レンズ26を通過して加工対象物1に照射される。なお、加工用レーザ光L1、測距用レーザ光及びその反射光はダイクロイックミラー58を透過する。

10

## 【0063】

そして、加工対象物1の表面3で反射された観察用可視光の反射光は、観察用対物レンズ26内に再入射して加工用レーザ光L1の光軸上を上方に向かって進行し、ダイクロイックミラー58により反射される。このダイクロイックミラー58により反射された反射光は、ダイクロイックミラー57により更に反射されて、フィルタ59、結像レンズ61、リレーレンズ62を順次通過し、CCDカメラ52に入射することになる。

20

## 【0064】

このCCDカメラ52により撮像された撮像データは全体制御部63に取り込まれ、この全体制御部63によってTVモニタ64に加工対象物1の表面3等の画像が映し出される。なお、全体制御部63は、各種処理を実行すると共に、ステージ21の移動、電磁レボルバ24の回転、電磁シャッタ37の開閉、CCDカメラ52による撮像等の他、レーザ加工装置20の全体の動作を制御するものである。

## 【0065】

次に、上述したレーザ加工装置20によるレーザ加工手順について説明する。まず、ステージ21上に加工対象物1を載置する。続いて、加工対象物1の改質領域7の形成開始位置と加工用レーザ光L1の集光点P1とが一致するようにステージ21を移動させる。なお、このときの加工用対物レンズ27と加工対象物1の表面3との距離は、加工対象物1の厚さや屈折率に基づいて決定することができる。

30

## 【0066】

続いて、レーザ光源22から加工用レーザ光L1を加工対象物1に向けて出射させる。このとき、加工用レーザ光L1の集光点P1は、加工対象物1の表面3から所定距離内側に位置しているので、改質領域7は加工対象物1の内部に形成される。そして、切断すべき所望の切断予定ラインに沿うようにステージ21をX軸方向やY軸方向に移動させて、加工対象物1の表面3に沿って延在する切断予定部8を改質領域7により形成する。

## 【0067】

この切断予定部8の形成中は、4分割位置検出素子42上における測距用レーザ光の反射光の集光像パターンに基づいて、加工用対物レンズ27と加工対象物1の表面3との距離が一定となるように、アクチュエータ28によって加工用対物レンズ27の位置が上下方向に微調整される。そのため、加工対象物1の表面3に面振れがあったり、ステージ21が振動したりしても、加工用対物レンズ27と加工対象物1の表面3との距離は一定に保たれることになる。したがって、加工対象物1の表面3から所定距離内側に精度良く切断予定部8を形成することができる。

40

## 【0068】

以上説明したようにレーザ加工装置20においては、ビームエキスパンダ34とレンズホルダ29の第1の光通過孔32とを結ぶ加工用レーザ光L1の光路上に、第1の光通過孔32と同径の第2の光通過孔39を有する絞り部材38が配置されている。そのため、ビー

50

ムエキスパンダ 34 によりビームサイズを拡大された加工用レーザ光 L1 は、絞り部材 38 によって第 2 の光通過孔 39 より大きいレーザ光 L1 の外周部分がカットされ、これにより、第 2 の光通過孔 39 を通過した加工用レーザ光 L1 の径は、レンズホルダ 29 の第 1 の光通過孔 32 の径と略同等になる。したがって、第 1 の光通過孔 32 の周囲部分によるレーザ光 L1 のカット量をほとんどなくすることができ、加工用レーザ光 L1 の照射によるレンズホルダ 29 の加熱を防止することが可能になる。しかも、絞り部材 38 はレンズホルダ 29 から離間しているため、第 2 の光通過孔 39 の周囲部分でカットされたレーザ光 L1 によって絞り部材 38 が加熱されても、絞り部材 38 からレンズホルダ 29 への熱伝達が防止される。よって、レーザ加工中におけるレンズホルダ 29 の加熱を主原因とした加工用レーザ光 L1 の集光点 P1 の位置変動を小さく抑えることができ、加工対象物 1 10 の内部における所定の位置に精度良く改質領域 7 を形成することが可能になる。

#### 【0069】

図 16 は、レーザ加工開始からの経過時間とレンズホルダの上昇温度との関係を示すグラフである。このグラフに示されるように、レーザ加工装置 20 においては、絞り部材 39 を設けることによって、絞り部材 39 を設けなかった場合に比べ、レーザ加工開始から 30 分の経過後におけるレンズホルダ 29 の上昇温度を 1℃も抑えることができる。

#### 【0070】

また、レーザ加工装置 20 においては、加工対象物 1 の内部に多光子吸収を起こさせるために、集光点 P1 での加工用レーザ光 L1 のピークパワー密度を  $1 \times 10^8$  (W/cm<sup>2</sup>) 以上というように高くする必要がある。また、加工対象物 1 がウェハ状であるがために多光子吸収により発生する改質領域 7 を微小なものにする必要がある。このような改質領域 7 を形成するためには、例えば「0.80」といった開口数の大きい集光レンズ 31 を用いる必要がある。そのため、集光レンズ 31 の入射瞳径、すなわち第 1 の光通過孔 32 の径を大きくする必要がある。このレーザ加工装置 20 においては、ビームエキスパンダ 34 を設けることで、レーザ光源 22 で発生した加工用レーザ光 L1 のビームサイズを、大型化された第 1 の光通過孔 32 の径に対応可能となるように十分に大きくすることができる。

#### 【0071】

本発明に係るレーザ加工装置は上記実施形態に限定されない。例えば、絞り部材 38 の第 2 の光通過孔 39 は、レンズホルダ 29 の第 1 の光通過孔 32 の径と同径であるものに限らず、ビームエキスパンダ 34 によりビームサイズを拡大された加工用レーザ光 L1 を絞って通過させるものであれば、第 1 の光通過孔 32 の径より大きくてもよい。この場合にも、ビームエキスパンダ 34 により拡大された加工用レーザ光 L1 を第 1 の光通過孔 32 に向けて直接照射させる場合に比べ、第 1 の光通過孔 32 の周囲部分によるレーザ光 L1 のカット量を減少させることができ、カットされたレーザ光 L1 によるレンズホルダ 29 の加熱を抑えることが可能になる。

#### 【0072】

また、上記実施形態は、ビームエキスパンダ 34 から出射されたレーザ光 L1 が略平行光である場合であったが、発散光や集束光であってもよい。

#### 【0073】

まず、ビームエキスパンダ 34 から出射されたレーザ光 L1 が発散光である場合について説明する。なお、レーザ光源 22 は、ビーム径  $\phi_0$ 、発散角度  $2\theta_0$  でレーザ光 L1 を出射し、ビームエキスパンダ 34 は、倍率 M でレーザ光 L1 のビームサイズを拡大し、発散角度  $2\theta_1$  でレーザ光 L1 を出射するものとする。また、図 17 に示すように、レーザ光源 22 の出射部 22a とビームエキスパンダ 34 の入射部 34a との距離を  $d_1$ 、ビームエキスパンダ 34 の出射部 34b と第 2 の光通過孔 39 の入射側開口 39a との距離を  $d_2$ 、第 2 の光通過孔 39 の入射側開口 39a と第 1 の光通過孔 32 の入射側開口 32a との距離を  $d_3$  とする。

#### 【0074】

このとき、ビームエキスパンダ 34 の入射部 34a でのレーザ光 L1 のビーム径は「 $\phi_0$ 」

10

20

30

40

50

+  $2 d_1 \cdot \tan \theta_0$ 」であるから、ビームエキスパンダ 3 4 の出射部 3 4 b でのレーザ光 L 1 のビーム径  $\phi_1$  は、次式 (1) で表される。

$$\phi_1 = M (\phi_0 + 2 d_1 \cdot \tan \theta_0) \cdots (1)$$

【0075】

ここで、ビームエキスパンダ 3 4 が無いと仮定した場合、ビームエキスパンダ 3 4 の出射部 3 4 b の位置でビーム径  $\phi_1$ 、発散角度  $2 \theta_1$  となるレーザ光 L 1 を出射する疑似点光源位置 Q とビームエキスパンダ 3 4 の出射部 3 4 b との距離  $d_4$  は、次式 (2) で表される。

$$d_4 = \phi_1 / (2 \cdot \tan \theta_1) \cdots (2)$$

【0076】

そして、疑似点光源位置 Q から発散角度  $2 \theta_1$  でレーザ光 L 1 が出射されると仮定した場合、疑似点光源位置 Q から距離「 $d_4 + d_2 + d_3$ 」の位置にある第 1 の光通過孔 3 2 の入射側開口 3 2 a に入る光通過孔 2  $\theta_L$  は、第 1 の光通過孔 3 2 の径を  $\phi_L$  とすると、次式 (3) で表される。

$$2 \theta_L = 2 \cdot \tan^{-1} \{ \phi_L / 2 (d_4 + d_2 + d_3) \} \cdots (3)$$

【0077】

したがって、第 2 の光通過孔 3 9 の径を  $\phi_s$  とすると、光線角度  $2 \theta_L$  以下のレーザ光 L 1 しか通さないように第 2 の光通過孔 3 9 の径  $\phi_s$  を次式 (4) で定義すれば、第 1 の光通過孔 3 2 の周囲部分に入射するレーザ光 L 1 をほとんどなくすることができる。

$$2 (d_4 + d_2) \tan \theta_L \geq \phi_s \cdots (4)$$

【0078】

上記式 (1) ~ 式 (4) より  $\phi_1$ 、 $d_4$ 、 $\theta_L$  を消去すると、第 1 の光通過孔 3 2 の径  $\phi_L$  及び第 2 の光通過孔 3 9 の径  $\phi_s$  は、

$$\frac{\phi_L \{ M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) + 2d_2 \tan \theta_1 \}}{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) + 2(d_2 + d_3) \tan \theta_1} \geq \phi_s$$

の関係を満たすことになる。

【0079】

以上のように、ビームエキスパンダ 3 4 から出射されたレーザ光 L 1 が発散光である場合には、第 1 の光通過孔 3 2 の径  $\phi_L$  と第 2 の光通過孔 3 9 の径  $\phi_s$  とが上記関係を満たすことで、第 1 の光通過孔 3 2 の周囲部分に入射するレーザ光 L 1 をほとんどなくすることができる。したがって、第 1 の光通過孔 3 2 の周囲部分によるレーザ光 L 1 のカット量をほとんどなくし、レンズホルダ 2 9 の加熱をより一層抑えることが可能になる。

【0080】

次に、ビームエキスパンダ 3 4 から出射されたレーザ光 L 1 が集束光である場合について説明する。なお、レーザ光源 2 2 は、ビーム径  $\phi_0$ 、発散角度  $2 \theta_0$  でレーザ光 L 1 を出射し、ビームエキスパンダ 3 4 は、倍率 M でレーザ光 L 1 のビームサイズを拡大し、集束角度  $2 \theta_1$  でレーザ光 L 1 を出射するものとする。また、図 18 に示すように、レーザ光源 2 2 の出射部 2 2 a とビームエキスパンダ 3 4 の入射部 3 4 a との距離を  $d_1$ 、ビームエキスパンダ 3 4 の出射部 3 4 b と第 2 の光通過孔 3 9 の入射側開口 3 9 a との距離を  $d_2$ 、第 2 の光通過孔 3 9 の入射側開口 3 9 a と第 1 の光通過孔 3 2 の入射側開口 3 2 a との距離を  $d_3$  とする。

【0081】

このとき、ビームエキスパンダ 3 4 の入射部 3 4 a でのレーザ光 L 1 のビーム径は「 $\phi_0 + 2 d_1 \cdot \tan \theta_0$ 」であるから、ビームエキスパンダ 3 4 の出射部 3 4 b でのレーザ光 L 1 のビーム径  $\phi_1$  は、次式 (5) で表される。

$$\phi_1 = M (\phi_0 + 2 d_1 \cdot \tan \theta_0) \cdots (5)$$

【0082】

ここで、ビームエキスパンダ 3 4 の出射部 3 4 b の位置でビーム径  $\phi_1$ 、集束角度  $2 \theta_1$  となるレーザ光 L 1 が集光すると仮定した場合、疑似集光点位置 R とビームエキスパンダ 3 4 の出射部 3 4 b との距離  $d_5$  は、次式 (6) で表される。

10

20

30

40

50

$$d_5 = \phi_1 / (2 \cdot \tan \theta_1) \cdots (6)$$

【0083】

そして、疑似集光点位置Rに集束角度 $2\theta_1$ で集光されるレーザ光L1のうち、疑似集光点位置Rから距離「 $d_5 - (d_2 + d_3)$ 」の位置にある第1の光通過孔32の入射側開口32aに入る光線角度 $2\theta_L$ は、第1の光通過孔32の径を $\phi_L$ とすると、次式(7)で表される。

$$2\theta_L = 2 \cdot \tan^{-1} [\phi_L / 2 \{d_5 - (d_2 + d_3)\}] \cdots (7)$$

【0084】

したがって、第2の光通過孔39の径を $\phi_s$ とすると、光線角度 $2\theta_L$ 以下のレーザ光L1しか通さないように第2の光通過孔39の径 $\phi_s$ を次式(8)で定義すれば、第1の光通過孔32の周囲部分に入射するレーザ光L1をほとんどなくすることができる。

$$\phi_L + 2d_3 \cdot \tan \theta_L \geq \phi_s \cdots (8)$$

【0085】

上記式(5)～式(8)より $\phi_1$ 、 $d_5$ 、 $\theta_L$ を消去すると、第1の光通過孔32の径 $\phi_L$ 及び第2の光通過孔39の径 $\phi_s$ は、

$$\frac{\phi_L \{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) - 2d_2 \tan \theta_1\}}{M(\phi_0 + 2d_1 \tan \theta_0) - 2(d_2 + d_3) \tan \theta_1} \geq \phi_s$$

の関係を満たすことになる。

【0086】

以上のように、ビームエキスパンダ34から出射されたレーザ光L1が集束光である場合には、第1の光通過孔32の径 $\phi_L$ と第2の光通過孔39の径 $\phi_s$ とが上記関係を満たすことで、第1の光通過孔32の周囲部分に入射するレーザ光L1をほとんどなくすることができる。したがって、第1の光通過孔32の周囲部分によるレーザ光L1のカット量をほとんどなくし、レンズホルダ29の加熱をより一層抑えることが可能になる。

産業上の利用可能性

【0087】

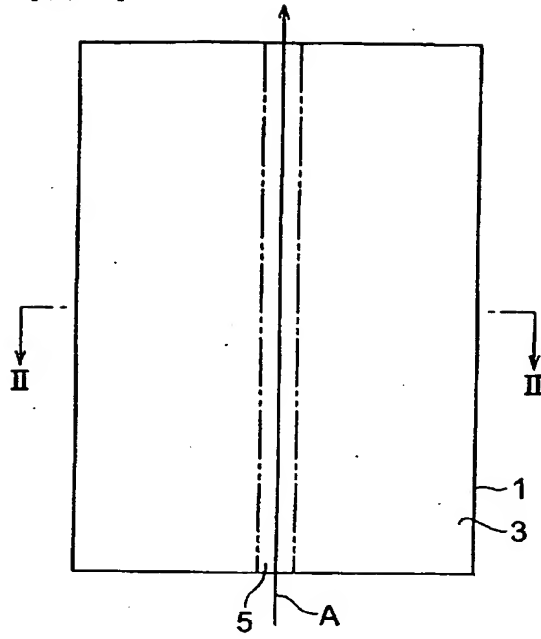
以上説明したように本発明に係るレーザ加工装置によれば、レーザ加工中におけるレンズホルダの加熱を主原因としたレーザ光の集光点の位置変動を小さく抑えることができ、ウェハ状の加工対象物の内部における所定の位置に精度良く改質領域を形成することが可能になる。

10

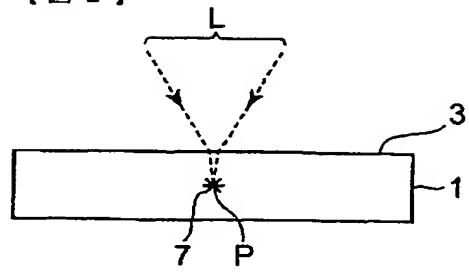
20

30

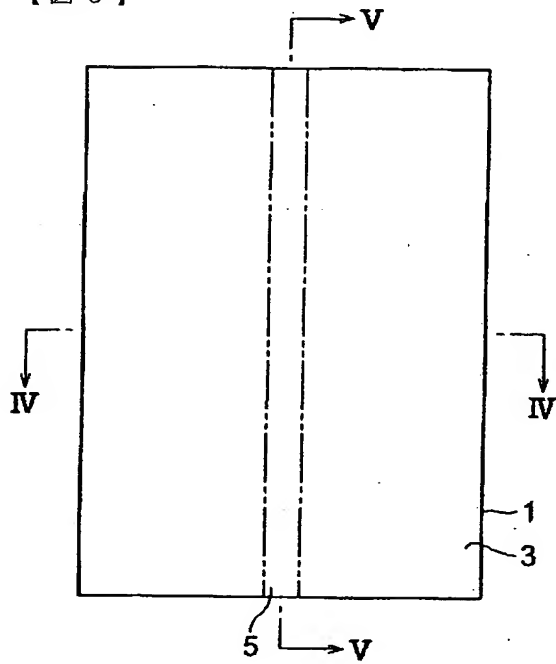
【図 1】



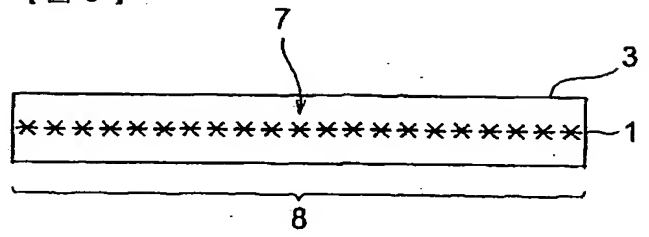
【図 2】



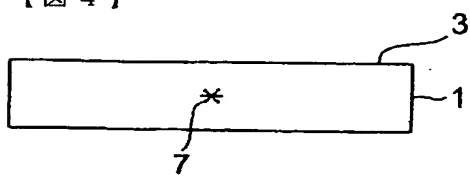
【図 3】



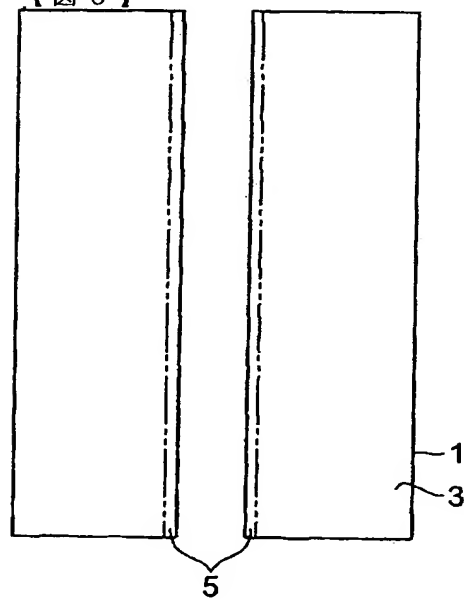
【図 5】



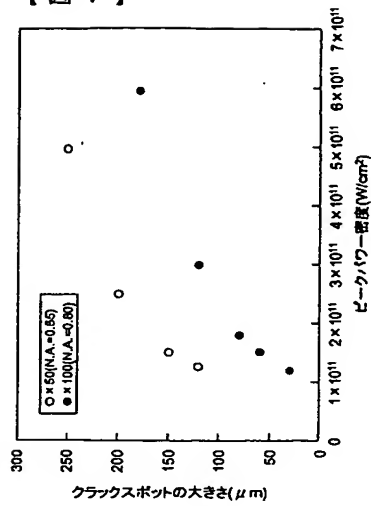
【図 4】



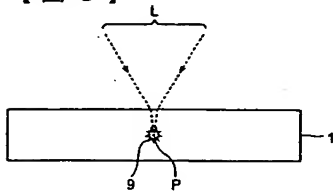
【図 6】



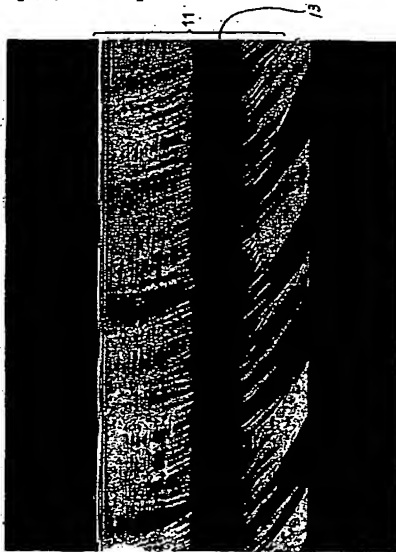
【図 7】



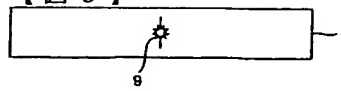
【図 8】



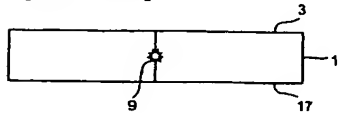
【図 12】



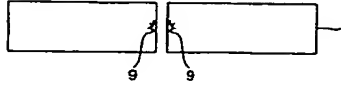
【図 9】



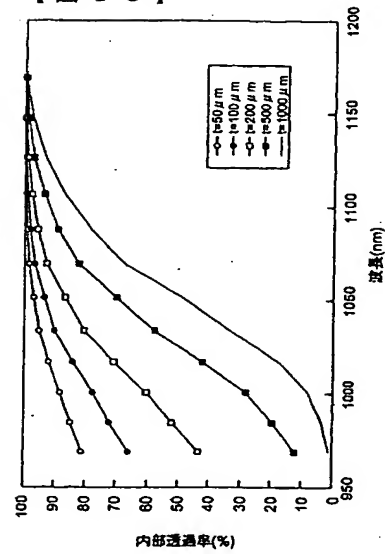
【図 10】



【図 11】

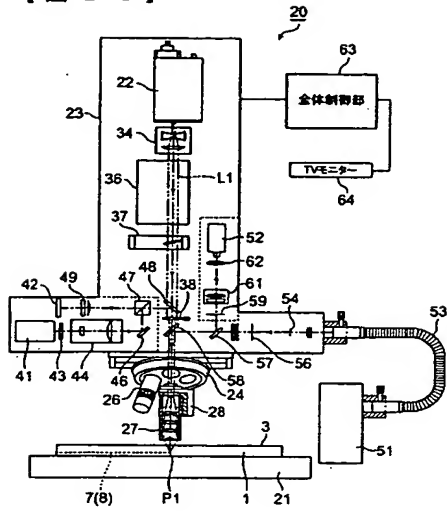


【図 13】

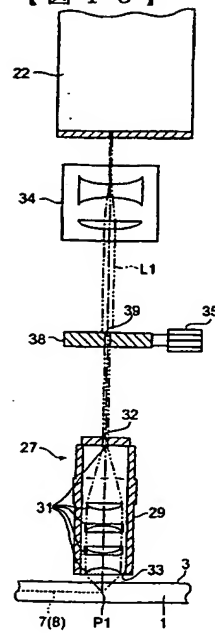




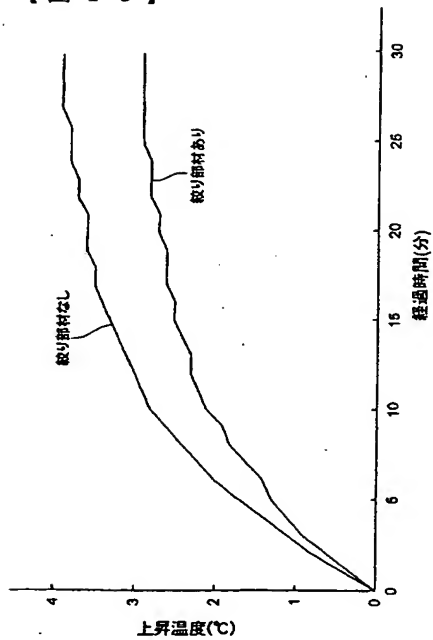
【図 14】



【図 15】



【図 16】



【図 17】

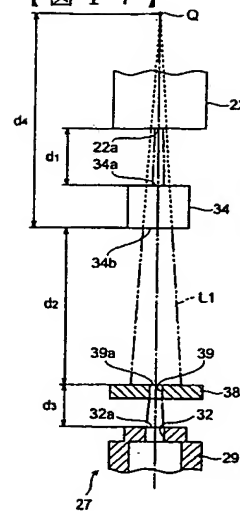


Fig. 1 is a schematic cross-sectional view of a lens assembly. A light ray  $L1$  enters from the right, passes through a lens 29, a lens 32, and a lens 38, and exits to the left. The assembly includes a lens 22 at the top. Dimensions  $d1$ ,  $d2$ , and  $d3$  are indicated for different sections. Labels 27, 29, 32, 32a, 34, 34a, 34b, 38, 39, and 39a identify various components and surfaces.

フロントページの続き

---

(72)発明者 箴島 哲也

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

審査官 加藤 昌人

(56)参考文献 特開平11-156568 (JP, A)

国際公開第02/22301 (WO, A1)

高岡秀嗣, 極薄半導体ウェハのダイシングに最適なステルスダイシング技術の原理と特徴, 電子材料, 日本, 株式会社工業調査会, 2002年 9月 1日, 第41巻, 第9号.

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

B23K 26/00-26/42

B28D 5/00